

Untersuchungen zur verkehrsbedingten
Belastung einer Kleinstadt mit Blei,
Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren

von

Karlheinz Plecher

aus

Mitterdorf



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Umwelthygiene und Präventivmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
Vorstand: Professor Dr. med. Dr. med. dent. W. Gräf

Untersuchungen zur verkehrsbedingten
Belastung einer Kleinstadt mit Blei,
Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich - Alexander - Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Karlheinz Plecher
aus
Mitterdorf

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof.Dr.V.Becker

Referent: Prof.Dr.Dr.W.Gräf

Tag der mündlichen Prüfung: 10.01.1983

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. METHODIK	3
2.1 Gewinnung der Untersuchungsproben	3
2.2 Analytik der Schwermetalle	4
2.3 Analytik von 3,4-Benzpyren	5
2.4 Statistik	7
3. ERGEBNISSE	7
3.1 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßenstaub des Stadtinnengebietes	11
3.2 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßenstaub von Ausfallstraßen	15
3.3 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßenstaub des Stadtaußengebietes	19
3.4 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Staub von Parkplätzen	23
3.5 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Staub von verkehrsfreien Entnahmestellen und Grünanlagen	25
3.6 Zusammenfassung der Mittelwerte der einzelnen Stadtgebiete	32
3.7 Vergleich der Blei- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßenstaub von Herzogenaurach und Erlangen	35
4. DISKUSSION	38
5. ZUSAMMENFASSUNG	46
6. LITERATURNACHWEIS	48

THE HISTORY OF THE

1. The first part of the history is the history of the world.
2. The second part of the history is the history of the nation.
3. The third part of the history is the history of the people.
4. The fourth part of the history is the history of the church.
5. The fifth part of the history is the history of the state.
6. The sixth part of the history is the history of the law.
7. The seventh part of the history is the history of the arts.
8. The eighth part of the history is the history of the sciences.
9. The ninth part of the history is the history of the letters.
10. The tenth part of the history is the history of the manners.
11. The eleventh part of the history is the history of the customs.
12. The twelfth part of the history is the history of the religion.
13. The thirteenth part of the history is the history of the politics.
14. The fourteenth part of the history is the history of the economy.
15. The fifteenth part of the history is the history of the agriculture.
16. The sixteenth part of the history is the history of the commerce.
17. The seventeenth part of the history is the history of the industry.
18. The eighteenth part of the history is the history of the arts and crafts.
19. The nineteenth part of the history is the history of the sciences and letters.
20. The twentieth part of the history is the history of the manners and customs.
21. The twenty-first part of the history is the history of the religion and politics.
22. The twenty-second part of the history is the history of the economy and agriculture.
23. The twenty-third part of the history is the history of the commerce and industry.
24. The twenty-fourth part of the history is the history of the arts and crafts.
25. The twenty-fifth part of the history is the history of the sciences and letters.
26. The twenty-sixth part of the history is the history of the manners and customs.
27. The twenty-seventh part of the history is the history of the religion and politics.
28. The twenty-eighth part of the history is the history of the economy and agriculture.
29. The twenty-ninth part of the history is the history of the commerce and industry.
30. The thirtieth part of the history is the history of the arts and crafts.
31. The thirty-first part of the history is the history of the sciences and letters.
32. The thirty-second part of the history is the history of the manners and customs.
33. The thirty-third part of the history is the history of the religion and politics.
34. The thirty-fourth part of the history is the history of the economy and agriculture.
35. The thirty-fifth part of the history is the history of the commerce and industry.
36. The thirty-sixth part of the history is the history of the arts and crafts.
37. The thirty-seventh part of the history is the history of the sciences and letters.
38. The thirty-eighth part of the history is the history of the manners and customs.
39. The thirty-ninth part of the history is the history of the religion and politics.
40. The fortieth part of the history is the history of the economy and agriculture.
41. The forty-first part of the history is the history of the commerce and industry.
42. The forty-second part of the history is the history of the arts and crafts.
43. The forty-third part of the history is the history of the sciences and letters.
44. The forty-fourth part of the history is the history of the manners and customs.
45. The forty-fifth part of the history is the history of the religion and politics.
46. The forty-sixth part of the history is the history of the economy and agriculture.
47. The forty-seventh part of the history is the history of the commerce and industry.
48. The forty-eighth part of the history is the history of the arts and crafts.
49. The forty-ninth part of the history is the history of the sciences and letters.
50. The fiftieth part of the history is the history of the manners and customs.

1. EINLEITUNG

Sowohl ein allgemein geschärftes Umweltbewußtsein als auch der Druck gesetzlicher Bestimmungen führten in den letzten Jahren zu einer Intensivierung der Untersuchungen über die durch den Kraftfahrzeugverkehr bedingte Schadstoffbelastung unserer Umwelt. Dabei stand und steht die Immissionsbelastung der Großstadtbevölkerung im Blickpunkt des Interesses. Das Hauptaugenmerk vieler Untersuchungen liegt neben der Erfassung der Abgasbestandteile Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide auf der Bestimmung von partikulären Fremdstoffen in der atmosphärischen Luft, insbesondere der kraftverkehrsbezogenen Staubkomponenten Blei und 3,4-Benzpyren (Benzo(a)pyren). Sie stellen einen nicht zu vernachlässigenden Risikofaktor für die Stadtbewohner dar. Zahlreiche Veröffentlichungen zur Problematik einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung der Menschen durch diese Stoffe belegen dies (FALK et al. 1960, LEHNERT et al. 1970, HAAS, SCHALLER, VALENTIN 1972, SCHELLHAS et al 1974, CAPRIO et al. 1974, CLAUSSEN 1977, BUCHWALD 1978, MOORE 1980).

Bemühungen zur Senkung der verkehrsbedingten Immissionsbelastung waren nur zum Teil erfolgreich. Fortschritte im Abgasverhalten der Fahrzeuge wurden teils von der starken Zunahme des Fahrzeugbestandes in den vergangenen Jahren aufgezehrt oder noch übertroffen (UMWELTBUNDESAMT 1980), so zum Beispiel bei den Kohlenmonoxid- und den Kohlenwasserstoffemissionen (UMWELT 1981).

Dagegen konnte nach dem Wirksamwerden beider Stufen des am 5.8.1971 vom Gesetzgeber beschlossenen Benzin-Blei-Gesetzes, wonach der Bleigehalt von Ottomotorkraftstoffen ab 1.1.1972 auf 0,4 g/l und ab 1.1.1976 auf 0,15 g/l begrenzt wurde, eine deutliche Verminderung der Bleibelastung der Umwelt nachgewiesen werden (CLAUSSEN 1977, BAUM 1977, SEIFERT u. ULLRICH 1978, GOLWER 1979, JOST u. SARTORIUS 1979). GRÄF, BAARS, GROTHE und ÜBELMESSER (1980) stellten zwischen 1971 und 1977 im Straßenstaub von Erlangen nicht nur eine erhebliche Reduktion des Bleigehaltes, sondern auch des 3,4-Benzpyrengehaltes fest. Damit befanden sie sich im Einklang mit Ergebnissen, die SEIFERT und ULLRICH (1978)

bei Schwebstaubuntersuchungen an einer Berliner Straßenkreuzung erhalten hatten.

Um nun einmal, verglichen mit großstädtischen Räumen, die kraftfahrzeugspezifische Belastung einer Kleinstadt beurteilen zu können, wurden nach der von GRÄF et al. (1980) verwendeten Methode Straßenstaubproben aus dem gesamten Stadtgebiet von Herzogenaurach (Einwohnerzahl einschließlich Eingemeindungen 1980 ca. 17000) entnommen und auf ihren Gehalt an Blei und 3,4 -Benzpyren untersucht. Gleichzeitig galt es, die Aussagekraft dieser Untersuchungsmethodik gegenüber Schwebstaubuntersuchungen nochmals deutlich herauszustellen. Da es dabei ohne allzu großen zusätzlichen Aufwand möglich war, auch die Konzentrationen der Schwermetalle Zink und Eisen zu bestimmen, wurden die Untersuchungen dahingehend ausgedehnt. Beide Stoffe werden in der Literatur des öfteren als straßenspezifisch bezeichnet (GOLWER 1979, GOLWER u. SCHNEIDER 1979, KRAUTH 1979). Dabei wird Eisen überwiegend in Form von Rost von den Kraftfahrzeugen abgegeben, während Zink aus Tropfverlusten des Motoröls, dem es zu 0,1 % als Antioxidantium und Hochdruckzusatz zugegeben wird, und vom Abrieb der Reifen stammt, die, je nach Reifenart, 1,5 - 4% Zink enthalten (mündliche Mitteilungen der SHELL AG, München und der CONTINENTAL AG, Hannover).

Der untersuchte Straßenstaub stellt zwar nicht, wie mit Schadstoffen beladener Schwebstaub, ein unmittelbares Gesundheitsrisiko für die Stadtbevölkerung dar, kann jedoch zweifelsohne als Maßstab für eine längerfristige verkehrsbedingte Immissionsbelastung dienen (GRÄF et al. 1980). Zugleich tragen vor allem die Schwermetallbestandteile des Straßenstaubes durch Abschwemmung in die Kanalisation zur Belastung von Kläranlagen und Gewässern bei. So sind in Klärschlämmen und Fahrbahnabflüssen hohe Gehalte der toxischen, straßenspezifischen Schwermetalle Blei und Zink nachzuweisen (GOLWER 1979, GOLWER u. SCHNEIDER 1979, SCHÖLER u. THOFERN 1980).

Um beurteilen zu können, ob mehrere Jahre nach Inkrafttreten der zweiten Stufe des Bezin-Blei-Gesetzes am 1.1.1976 noch immer eine ständig fortschreitende Reduktion der verkehrsbedingten Bleibelastung zu verzeichnen ist, wurden im Abstand eines Jahres an identischen Entnahmepunkten in Herzogenaurach Staubproben gewonnen. Die Probenahmen fanden Anfang Oktober 1979 und Ende September 1980 statt. Die analytischen Untersuchungen der gesammelten Staubproben erfolgten im Frühjahr 1981.

2. METHODIK

2.1 Gewinnung der Untersuchungsproben

Die zur Untersuchung gelangenden Staubproben wurden an Straßenbordsteinen, Verkehrsinseln und Bürgersteigen entnommen, einige auch im Bereich von Grünanlagen und auf Parkplätzen. Untergrund und Umgebungscharakter wurden bei jeder Entnahmestelle protokolliert. Zur Bestimmung des ungefähren Verkehrsaufkommens wurden Verkehrszählungen der Stadt Herzogenaurach aus den Jahren 1978 bis 1981 herangezogen. Die Probenahme erfolgte mit Hilfe von Roßhaarbürste und Kehrschaufel. Zum Entfernen größerer, störender Partikel wurden die Proben grob mit einem normalen Teesieb vorgesiebt. Der gewonnene Straßenstaub (70 - 140 g) wurde in mit Aluminiumfolie verschlossenen Bechergläsern bei Zimmertemperatur dunkel und trocken aufbewahrt. Mittels genormter Prüfsiebe nach DIN 4183 mit einer Maschenweite von 25 μ m wurden die Proben vor der analytischen Aufarbeitung fein gesiebt.

Bei der Auswahl der Entnahmestellen standen die Kriterien Verkehrsdichte und Siedlungscharakter im Vordergrund. Dabei wurde darauf geachtet, eine möglichst repräsentative Anzahl von Entnahmepunkten aus verschiedenen Bereichen des Stadtgebietes zu erhalten.

Diese ließen sich einteilen in:

- 1) Stadtinnengebiet
- 2) Ausfallstraßen
- 3) Stadtaußengebiet bzw. Wohngebiete
- 4) Parkplätze
- 5) verkehrsfreie Entnahmestellen und Grünanlagen
 - im Stadtinnengebiet
 - im Stadtaußengebiet

Um die Proben vergleichbar zu machen, wurde die Entnahme an je einem Tag nach jeweils mehr als einwöchiger Schönwetterperiode zu Anfang Oktober 1979 und Ende September 1980 durchgeführt. Damit wurde einer früheren Untersuchung (ÜBELMESSER 1973) Rechnung getragen, der zufolge einer Staubprobennahme eine Trockenperiode von mindestens zwei Tagen vorausgegangen sein sollte. Die Außentemperaturen machten in beiden Jahren noch keinen Hausbrand erforderlich, sodaß der durch Heizfeuerung bedingte Gehalt an 3,4-Benzpyren in der Stadtluft, und damit auch im Staubbiederschlag auf den Straßen, als außerordentlich niedrig angesetzt werden konnte. Somit stammt das im Straßenstaub nachgewiesene Benzpyren praktisch ausschließlich vom Straßenverkehr (DORNAUER 1974).

2.2 Analytik der Schwermetalle

100 mg der feingesiebten Staubproben wurden in 50 ml 1:1 verdünnter 65 %iger Salpetersäure p.a. zehn bis fünfzehn Minuten lang gekocht, danach die ungelösten Bestandteile abfiltriert und die Lösung mit Aqua bidest auf 100 ml aufgefüllt. Die Analyse erfolgte dann mit einem Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) der Fa. Beckman, Modell 1272 M Digital. Zur Erstellung der Eichkurven für die Messung der Blei-, Zink- und Eisengehalte der Staubproben wurden jeweils sechs Lösungen definierter Konzentration hergestellt, deren jeweils niedrigste und höchste unter bzw. über dem zu erwartenden Schwermetallgehalt der

Proben lag. Um die Einhaltung des optimalen Meßbereiches zu gewährleisten, in dem allein die Eichkurve eine Gerade bildet, mußte bei der Messung der Bleiwerte eine Anhebung der Staubmenge um das Vierfache erfolgen. Bei der Untersuchung der Zink- und Eisengehalte war dies nicht erforderlich. Kontrollmessungen zeigten, daß mögliche Verluste durch Abfiltrieren und eine Streuung der Werte bei Mehrfachmessungen einer Staubprobe sehr gering waren, so daß es vertretbar erschien, pro Probe nur eine einmalige Messung durchzuführen, ohne an Aussagekraft zu verlieren.

2.3 Analytik von 3,4-Benzpyren

In einer früheren Arbeit (GRÄF et al. 1980) wurde bereits eine leicht praktikable Methode zur Analyse des 3,4-Benzpyren aus Staubproben aufgezeigt. Während unserer Untersuchungen stellte sich heraus, daß im Verlauf der Papierchromatographie eine Reihe von Verunreinigungen auftraten, die zu einer nur teilweise befriedigenden Trennung der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) führten. Deshalb entschlossen wir uns zu einer Vorreinigung des zu untersuchenden Staubextraktes über eine kurze Al_2O_3 -Säule. Dieses Verfahren wird auch von GRIMMER (1979) und MICHELS u. EINBRODT (1979) angeführt.

1,0 g des feingesiebten Staubes wurde drei Stunden lang mit 250 - 300 ml Methanol im Soxhlet-Apparat extrahiert. Der Methanolextrakt wurde vorsichtig zur Trockene eingedunstet, mit ca. 30 ml Benzol quantitativ aufgenommen und in ein Porzellanschälchen überführt. Zur groben Abtrennung des PAK-Gemisches von verunreinigenden Begleitstoffen erfolgte sodann die Vorreinigung über eine Al_2O_3 -Säule. Verwendet wurde eine 10 cm lange G3-Fritte vom Durchmesser 20 mm, die mit Al_2O_3 -Woelm neutral, Aktivität I, beschickt wurde. Als Eluierungsmittel diente Benzol. Das Eluat wurden in einem Porzellanschälchen aufgefangen und zum Verdampfen des Benzols in einen Abzug gestellt. Danach wurde mit wenigen Millilitern Benzol mehrmals aufgenommen und auf acetyliertes Chromatographiepapier (Macherey, Nagel & Co, Nr. 214 AC - 20%)

der Größe 49 x 18 cm punktförmig 2,5 cm vom linken unteren Papierrand entfernt aufgetragen. Unter Verwendung eines Fließmittelgemisches von Äther, Methanol und Wasser (aqua bidest) im Verhältnis 4:4:1 (nach WIELAND u. KRACHT zitiert bei SCHAAD 1970) wurde zunächst 14 bis 15 Stunden aufsteigend chromatographiert. Da eine Trennung der PAK damit noch nicht zu erreichen war, wurde entsprechend dem Innendurchmesser unserer Chromatographiekammer oberhalb des Startpunktes ein ca. 18 cm langes Stück des Chromatogramms abgeschnitten, um 90° gedreht und nochmals 2,5 Stunden chromatographiert. Durch diese einfache zweidimensionale Papierchromatographie gelang eine gute Trennung des 3,4-Benzpyren von den übrigen PAK. Sodann wurde der 3,4-Benzpyrenfleck unter der UV-Lampe markiert, abgeschnitten und die zerkleinerten Papierstücke mit geringen Mengen heißen Benzols quantitativ extrahiert. Die vereinigten Eluate wurden spektralphotometrisch im Wellenbereich 400 - 350 μm analysiert (selbstregistrierender Spektralphotometer, Modell DK 2, Fa. Beckman) und über die charakteristische Absorptionskurve eine Identifizierung, sowie gleichzeitig durch Ausmessung des Extinktionsmaximums bei 388 μm eine quantitative Bestimmung des 3,4-Benzpyren vorgenommen.

Die gefundenen Werte wurden zum Ausgleich von Extraktions- und Chromatographieverlusten mit einem vorher vielfach experimentell ermittelten Korrekturfaktor von 1,54 multipliziert. Da zehn verschiedene Stäube zwischen vier- und neunmal parallel gemessen wurden und sich gut reproduzierbare Resultate ergaben, verzichteten wir bei den restlichen Proben auf generelle Mehrfachmessungen. Bei einer Vielzahl von gesiebten Stäuben wurden zumindest zwei Werte gewonnen. Bei mehreren vorhandenen 3,4-Benzpyrenwerten pro Staubprobe ging deren Mittelwert als Ergebnis ein.

2.4. Statistik

Die Korrelationskoeffizienten wurden nach folgender Formel geschätzt:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} .$$

Da r bei kleinem Stichprobenumfang n den wahren Korrelationskoeffizienten unterschätzt, wurde eine Korrektur nach OLKIN und PRATT (1958) durchgeführt (zit. in SACHS 1974):

$$r^* = r \left[1 + \frac{1 - r^2}{2(n - 3)} \right]$$

Der in der vorliegenden Arbeit angegebene Korrelationskoeffizient r entspricht dem oben angeführten Wert r^* .

3. ERGEBNISSE

Die Untersuchungsproben wurden gemäß der beschriebenen Entnahmetechnik aus dem gesamten Stadtgebiet Herzogenaurachs entnommen. Die Abbildungen 1 und 2 geben in schematisierter Form die Lagebeziehungen der gewählten Entnahmestellen wider. Die an Kreuzungen gewonnenen Proben stammten überwiegend von Verkehrsinseln, ansonsten von Bordsteinen. An den stark befahrenen Kreuzungen 2.1 Erlangerstr./Rathgeberstr. und 2.2 Hans-Maier-Str./Würzburgerstr. wurden jeweils vier bzw. drei Proben gewonnen. Die in die Tabellen eingegangenen Werte sind demzufolge Mittelwerte dieser Kreuzungen. Die durchlaufende Numerierung jedes Untersuchungsbereiches erfolgte nach fallendem Bleigehalt der Staubproben des Jahres 1979.

Von der Stadt Herzogenaurach dankenswerterweise zur Verfügung gestellte Ergebnisse von Verkehrszählungen gestatteten einen Überblick über die Verkehrsbelastung einzelner Straßen bzw. Kreuzungen des gesamten Stadtgebietes. Da bei einigen Meßpunkten

über 7,5 Stunden, bei anderen über 12,5 Stunden gezählt worden war, wurde der Vergleichbarkeit halber jeweils das durchschnittliche Verkehrsaufkommen pro Stunde errechnet. Da nicht alle Zählstellen mit unseren Entnahmepunkten übereinstimmten, wurden für die Punkte 1.1 Postplatz und 2.2 Hans-Maier-Str./Würzburgerstr. Mindestverkehrsbelastungen geschätzt. Für diese beiden Kreuzungen waren im Zahlenmaterial der Stadt nur Angaben über jeweils zwei von drei bzw. vier zuführenden Straßen vorhanden. Für die Straßen der Wohngebiete werden Zahlen von im Siedlungsscharakter vergleichbaren Bereichen angegeben. Die entsprechenden Verkehrszahlen finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Verkehrsaufkommen im Stadtgebiet von Herzogenaurach

Nr.	Ort	KFZ /Std.
1.1	Postplatz	mehr als 924
1.2	Hans-Maier/Ansbacher	1724
1.3 - 1.5	Hauptstraße	517
1.6	Hans-Maier/Bahnhof	1763
2.1	Erlanger/Rathgeber	2037
2.2	Hans-Maier/Würzburger	mehr als 1300
2.3	Bamberger/Ring	723
2.6	Zum Flughafen/Ring	703
2.7	Ansbacher, nahe ASV-Platz	306
3.	Vergleichbare Wohngebietsstraßen	
	Heroldstraße	22
	Goethestraße	41
	Dambachstraße	107
	Welkenbachstraße	378

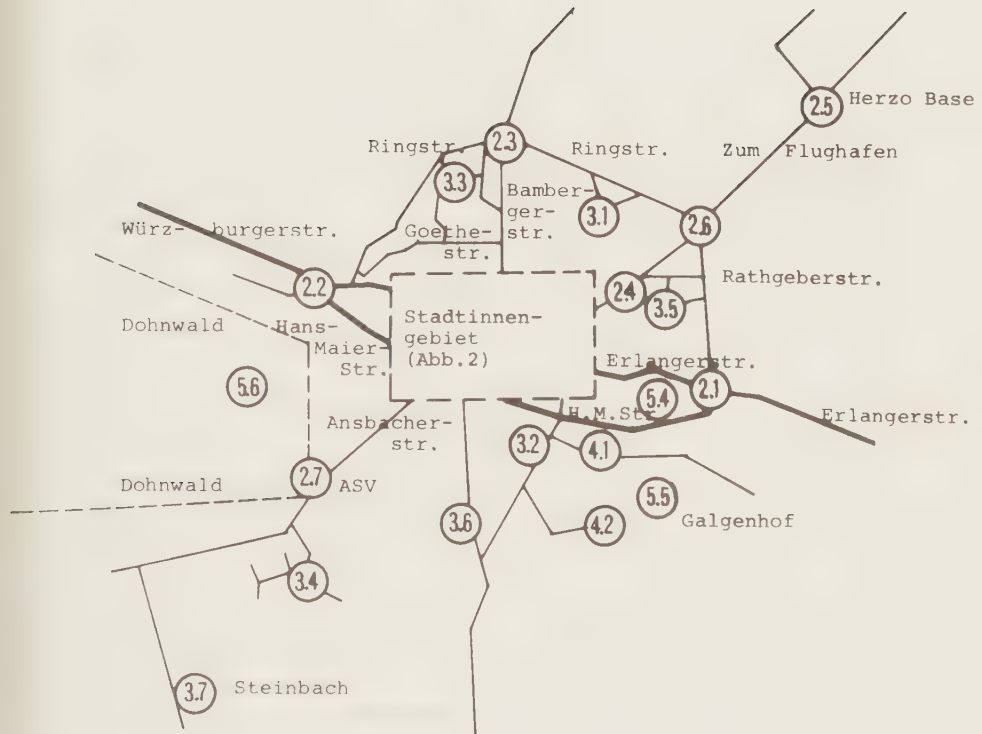


Abbildung 1: Staubprobenentnahmestellen im Straßennetz des Stadttaußengebietes von Herzogenaurach schematisiert dargestellt

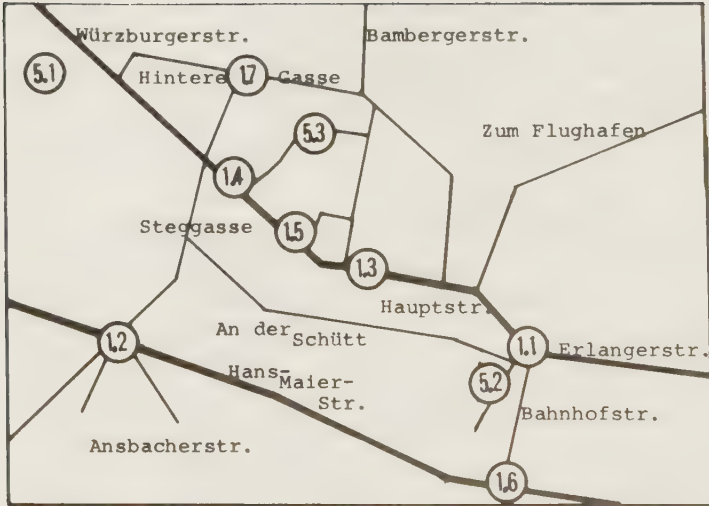


Abbildung 2: Staubprobenentnahmestellen im Straßennetz des Stadtinnengebietes von Herzogenaurach schematisiert dargestellt.

3.1 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßen- staub des Stadtinnengebietes

Die Verkehrssituation Herzogenaurachs ist charakterisiert durch eine das Stadtzentrum durchziehende Hauptverkehrsader (Hauptstraße), eine parallel dazu verlaufende Entlastungsstraße für den Stadtkern (Hans-Maier-Str.) und einige mehr oder weniger parallel bzw. ringartig dazu angeordnete Verkehrswege. Der Untersuchungsbereich "Stadtinnengebiet" beinhaltet alle Punkte aus Abbildung 2, ausschließlich der Grünanlagen, die in Abschnitt 3.5 unter "Verkehrsfreie Entnahmestellen und Grünanlagen im Stadtinnengebiet" aufgeführt werden. Die in den Untersuchungsjahren 1979 und 1980 an identischen Entnahmepunkten gefundenen Metall- und 3,4-Benzpyrenkonzentrationen sowie die Korrelationen der Metalle untereinander und zu 3,4-Benzpyren finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Werte im Stadtinnengebiet

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
1.1	Postplatz	1,50	1,20
1.2	Hans-Maier/Ansbacher	1,20	0,58
1.3	Unterer Turm	0,94	0,65
1.4	Oberer Turm	0,73	0,46
1.5	Marktplatz	0,62	0,58
1.6	Hans-Maier/Bahnhof	0,61	0,75
1.7	Hintere Gasse/Steggasse	0,57	0,60
	Mittelwert	0,87	0,70

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
1.1	Postplatz	1,08	1,60
1.2	Hans Maier/Ansbacher	0,84	0,52
1.3	Unterer Turm	0,48	0,73
1.4	Oberer Turm	0,87	0,58
1.5	Marktplatz	0,61	1,00
1.6	Hans Maier/Bahnhof	0,68	0,70
1.7	Hintere Gasse/Steggasse	0,66	0,74
	Mittelwert	0,75	0,84

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen/ g Staub	
		1979	1980
1.1	Postplatz	25,0	25,4
1.2	Hans Maier/Ansbacher	27,4	19,8
1.3	Unterer Turm	18,2	19,6
1.4	Oberer Turm	25,3	18,3
1.5	Marktplatz	15,4	21,7
1.6	Hans Maier/Bahnhof	21,7	25,1
1.7	Hintere Gasse/Steggasse	16,8	18,8
	Mittelwert	21,4	21,2

d) Benzpyren

Nr.	Ort	$\mu\text{g Benzpyren/ g Staub}$	
		1979	1980
1.1	Postplatz	0,62	0,22
1.2	Hans Maier/Ansbacher	0,51	0,33
1.3	Unterer Turm	0,54	0,36
1.4	Oberer Turm	0,12	0,11
1.5	Marktplatz	0,09	0,10
1.6	Hans Maier/Bahnhof	0,22	0,35
1.7	Hintere Gasse/Steggasse	0,43	0,29
	Mittelwert	0,36	0,25

e) Korrelationskoeffizient r

r	1979	1980
Pb/3,4-BP	0,79	0,16/0,78 ¹⁾
Pb/Zn	0,76	0,90
Pb/Fe	0,68	0,84
Zn/3,4-BP	0,28	- 0,30
Zn/Fe	0,81	0,72
Fe/3,4-BP	0,29	0,12

¹⁾ Berechnung ohne den Wert 1.1 Postplatz

Die Bleigehalte der Straßenstaubproben an den beiden Hauptverkehrsstraßen und im sonstigen Stadtinnengebiet liegen in der erwarteten Größenordnung von bis zu 2 mg Blei / g Staub. Überraschend fand sich 1979 an der Kreuzung 1.6 Hans-Maier-Str./Bahnhofstr. mit 0,61 mg Blei/g Staub nur die Hälfte der Bleimenge der Entnahmestelle 1.2 Hans-Maier-Str./Ansbacher-Str. mit 1,20 mg Blei/g Staub, obwohl beide Kreuzungen ein ungefähr

gleiches Verkehrsaufkommen aufweisen (siehe Tab.1). Der Entnahmepunkt an der Ansbacher-Str. ist jedoch deutlich geringeren Windeinflüssen ausgesetzt als derjenige an der Bahnhofstraße. Dasselbe Verhalten zeigen diese beide Kreuzungen im Jahre 1979 bei allen gemessenen Schadstoffen. Unklar bleibt, weshalb die 3,4-Benzpyrenwerte an den Entnahmestellen 1.4 Oberer Turm und 1.5 Markplatz in beiden Jahren mit Werten um 0,1 µg Benzpyren/g Staub erheblich niedriger liegen als die übrigen Werte im Stadtinnengebiet, bei ansonsten für diesen Stadtbereich typischen Schwermetallgehalten.

Die Schadstoffbelastung der Hauptstraße mit den Entnahmepunkten 1.1, 1.3, 1.4 und 1.5 und der Hans-Maier-Str. als Entlastungsstraße mit den Sammelstellen 1.2 und 1.6 erweist sich als ungefähr gleich. Aus der nachfolgenden Tabelle 3 ist ersichtlich, daß im Jahr 1979 die Metall- und 3,4-Benzpyrenwerte der beiden Straßen nahezu gleich lagen, während sich 1980 besonders für Zink und 3,4-Benzpyren größere Schwankungen ergaben.

Tabelle 3: Werte der beiden Hauptverkehrsadern des Stadtinnengebietes

a) Blei

Ort	mg Blei/g Staub	
	1979	1980
Hauptstr.	0,95	0,72
Hans-Maier-Str.	0,91	0,67

b) Zink

Ort	mg Zink/g Staub	
	1979	1980
Hauptstr.	0,76	0,98
Hans-Maier-Str.	0,76	0,61

c) Eisen

Ort	mg Eisen/ g Staub	
	1979	1980
Hauptstr.	21,0	21,3
Hans-Maier-Str.	24,6	22,5

d) Benzpyren

Ort	µg Benzpyren/ g Staub	
	1979	1980
Hauptstr.	0,34	0,20
Hans-Maier-Str.	0,37	0,34

Zusammenhänge zwischen jeweils zwei von dem gemeinsamen Verursacher Kraftfahrzeug herrührenden Schadstoffen im Straßenstaub lassen sich aus Tabelle 2e ablesen. Es wird deutlich, daß zwischen den einzelnen Schwermetallen eine engere Beziehung besteht als zwischen den Schwermetallen und 3,4-Benzpyren. Einzig zwischen Blei und 3,4 Benzpyren findet sich für das Jahr 1979 ein hoher Korrelationskoeffizient von $r = + 0,79$. Läßt man den unerklärlich niedrigen Wert des Postplatzes im Jahr 1980, der möglicherweise auf einem analytischen Ausreißer beruht, aus der Berechnung fallen, so ergibt sich für die restlichen sechs Sammelstellen statt $r = + 0,16$ ein Korrelationskoeffizient von $r = + 0,78$. Dieser entspricht damit dem Wert von 1979.

3.2 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalte im Straßenstaub von Ausfallstraßen

Da sieben Meßpunkte an zum Teil stark befahrenen Zu- und Ausfahrtsstraßen teilweise Fortsetzungen der Hauptverkehrsstraßen aus dem Zentrum - gewählt wurden, die einteilungsmäßig aber nicht mehr zum Stadtinnengebiet zählen, wurden sie in einer eigenen Gruppe "Ausfallstraßen" zusammengefaßt. Tabelle 4 beinhaltet die gefundenen Schwermetall- und 3,4 Benzpyrenwerte und die zugehörigen Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 4: Werte an Ausfallstraßen

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
2.1	Erlanger/Rathgeber	1,44	0,94
2.2	Hans-Maier/Würzburger	1,19	0,83
2.3	Bamberger/Ring	0,83	0,93
2.4	Hans Sachs/Zum Flughafen	0,82	0,45
2.5	Herzo Base	0,40	0,40
2.6	Zum Flughafen/Ring	0,20	0,45
2.7	Ansbacher	0,20	0,23
	Mittelwert	0,73	0,60

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
2.1	Erlanger/Rathgeber	0,89	0,87
2.2	Hans-Maier/Würzburger	0,65	0,63
2.3	Bamberger/Ring	0,56	0,75
2.4	Hans Sachs/Zum Flughafen	0,38	0,28
2.5	Herzo Base	0,20	0,22
2.6	Zum Flughafen/Ring	0,29	0,26
2.7	Ansbacher	0,25	0,29
	Mittelwert	0,46	0,47

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen / g Staub	
		1979	1980
2.1	Erlanger/Rathgeber	24,1	21,9
2.2	Hans-Maier/Würburger	29,6	26,2
2.3	Bamberger/Ring	23,8	23,5
2.4	Hans Sachs/Zum Flughafen	23,2	18,0
2.5	Herzo Base	14,0	15,5
2.6	Zum Flughafen/Ring	22,5	18,4
2.7	Ansbacher	16,8	18,8
Mittelwert		22,0	20,3

d) Benzpyren

Nr.	Ort	µg Benzpyren / g Staub	
		1979	1980
2.1	Erlanger/Rathgeber	0,38	0,46
2.2	Hans-Maier/Würzburger	0,20	0,23
2.3	Bamberger/Ring	0,15	0,21
2.4	Hans Sachs/Zum Flughafen	0,71	1,01
2.5	Herzo Base	0,49	1,95
2.6	Zum Flughafen/Ring	0,92	2,56
2.7	Ansbacher	0,08	0,05
Mittelwert		0,42	0,92/0,39 ¹⁾

¹⁾ Wert ohne Entnahmepunkte 2.5 und 2.6

e) Korrelationskoeffizient r

r	1979	1980
Pb/3,4-BP	- 0,30	- 0,45
Pb/Zn	0,95	0,96
Pb/Fe	0,74	0,83
Zn/3,4-BP	- 0,34	- 0,65
Zn/Fe	0,76	0,83
Fe/3,4-BP	0,05	- 0,70

Wie aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens (siehe Tab.1) nicht anders zu erwarten, finden sich an den Kreuzungen Erlangerstr./Rathgeberstr. mit 1,22 mg Blei/g Staub und 0,88 mg Zink/g Staub und Hans-Maier-Str./Würzburgerstr. mit 1,01 mg Blei/g Staub und 0,64 mg Zink/g Staub die höchsten Blei- und Zinkgehalte an den Ausfallstraßen. Die angegebenen Werte sind jeweils die Mittelwerte aus der Summe der beiden Jahre 1979 und 1980. Trotz einer um mehr als die Hälfte geringeren Verkehrsbelastung liegen die Blei- und Zinkgehalte an der Kreuzung Bambergerstr./Ringstr. mit 0,88 mg Blei/g Staub und 0,65 mg Zink/g Staub ebenfalls in dieser Größenordnung. Die Eisengehalte des Straßenstaubes sind nur an der Kreuzung Hans-Maier-Str./Würzburgerstr. mit 27,9 mg Eisen/g Staub deutlich erhöht gegenüber dem Mittelwert von 21,2 mg Eisen/g Staub der Ausfallstraßen insgesamt.

Als erwartungsgemäß niedrig stellt sich die Schadstoffbelastung der Ansbacherstr. in Höhe des ASV-Sportplatzes heraus, die mit 306 Kfz/h ein relativ geringes Verkehrsaufkommen bei zugleich freiem Windzutritt aufweist.

Auffällig sind dagegen die hohen 3,4-Benzpyrengelalte entlang der Flughafenstraße, der Verbindungsstraße zur Herzo Base, einer amerikansichen Kaserne. Die sehr großen Werte von 1,95 µg Benzpyren/ g Staub an der Herzo Base und von 2,56 µg Benzpyren/ g Staub an der Kreuzung Zum Flughafen/Ringstr. im Jahr 1980

stellen allerdings womöglich Ausreißer dar. Berücksichtigt man bei der Mittelwertbildung diese beiden Werte nicht, ergibt sich ein mittlerer 3,4-Benzpyrengesamtgehalt von $0,33 \mu\text{g}$ Benzpyren/g Staub anstatt $0,92 \mu\text{g}$ Benzpyren/ g Staub. Dieser liegt nur wenig unter dem des Jahres 1979 mit $0,42 \mu\text{g}$ Benzpyren/g Staub.

Die in Tabelle 4e aufgeführten Korrelationskoeffizienten zeigen, daß für die Schwermetalle ein ebenso starker positiver Zusammenhang besteht, wie dies im Stadtinnengebiet der Fall ist. Die überdurchschnittlich hohen 3,4-Benzpyrengesamtgehalte an der Flughafenstraße bewirken die negativen Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen der Schwermetalle zu 3,4 Benzpyren. Bei dem geringen Stichprobenumfang üben natürlicherweise etwaige Ausreißer besonders starke Einflüsse bei der Bestimmung der Korrelationskoeffizienten aus.

3.3 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengesamtgehalte im Straßen- -----staub des Stadtaußengebietes-----

Entsprechend der Lageskizze in Abbildung 1 wurden in analoger Weise an sieben ausgewählten Entnahmestellen des Stadtaußen- bzw. Wohngebietes von Herzogenaurach Straßenstaubproben entnommen. Die dabei gefundenen Schwermetall- und 3,4-Benzpyrengesamtgehalte, sowie die zugehörigen Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Werte im Stadtaußengebiet

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
3.1	Amerikanische Siedlung	1,60	0,92
3.2	Gutenberg/Im Buck	0,50	0,63
3.3	Liegnitzer	0,35	0,49
3.4	Schumann/Lehar	0,25	0,14
3.5	Kunigunden	0,20	0,28
3.6	Burgstaller Weg	0,20	0,17
3.7	Steinbach	0,10	0,20
	Mittelwert	0,46/0,27 ¹⁾	0,40/0,32 ¹⁾

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
3.1	Amerikanische Siedlung	1,00	0,63
3.2	Gutenberg/Im Buck	0,35	0,58
3.3	Liegnitzer	0,56	0,68
3.4	Schumann/Lehar	0,20	0,28
3.5	Kunigunden	0,36	0,39
3.6	Burgstaller Weg	0,27	0,27
3.7	Steinbach	0,14	0,26
	Mittelwert	0,40/0,31 ¹⁾	0,44/0,41 ¹⁾

¹⁾ Werte ohne den Entnahmepunkt 3.1 Amerik.Siedlung

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen / g Staub	
		1979	1980
3.1	Amerikanische Siedlung	33,7	20,5
3.2	Gutenberg/Im Buck	18,2	19,6
3.3	Liegnitzer	20,5	30,2
3.4	Schumann/Lehar	28,0	20,3
3.5	Kunigunden	14,5	19,0
3.6	Burgstaller Weg	18,2	14,8
3.7	Steinbach	13,0	15,5
Mittelwert		20,9/18,7 ¹⁾	18,0/19,8 ¹⁾

d) Benzpyren

Nr.	Ort	µg Benzpyren/g Staub	
		1979	1980
3.1	Amerikanische Siedlung	0,44	0,85
3.2	Gutenberg/Im Buck	0,06	0,08
3.3	Liegnitzer	0,26	0,16
3.4	Schumann/Lehar	0,03	0,06
3.5	Kunigunden	0,05	0,12
3.6	Burgstaller Weg	0,03	0,05
3.7	Steinbach	0,03	0,08
Mittelwert		0,13/0,08 ¹⁾	0,20/0,09 ¹⁾

¹⁾ Werte ohne den Entnahmepunkt 3.1 Amerik.Siedlung

e) Korrelationskoeffizient_r

r	1979	1980
Pb/3,4-BP	0,90	0,85
Pb/Zn	0,94	0,89
Pb/Fe	0,82	0,41
Zn/3,4-BP	0,98	0,58
Zn/Fe	0,73	0,79
Fe/3,4-BP	0,74	0,17

Aus den Tabellen 5a - 5d geht eindeutig hervor, daß die Belastung des Straßenstaubes in Wohn- und Stadtaußengebieten mit den verkehrsbedingten Schadstoffen Blei, Zink und 3,4-Benzpyren im allgemeinen erheblich niedriger ist als im Stadtinnengebiet und an den Ausfallstraßen. Weniger deutlich sind die Unterschiede bei Eisen. Einzig die Schadstoffwerte der Sammelstelle 3.1 Amerikanische Siedlung passen nicht in dieses Bild. Obwohl dieser Entnahmepunkt eindeutig unter den Wohngebieten einzuordnen ist, liegen die Schwermetall- und 3,4-Benzpyrengelhalte beträchtlich höher als diejenigen vergleichbarer Punkte. Sie bewegen sich in für das Stadtinnengebiet üblichen Größenordnungen. Möglicherweise ist dies auf einen höheren Schadstoffausstoß der amerikanischen Kraftfahrzeuge zurückzuführen. Während sich die Schwermetallgelhalte 1980 gegenüber dem Vorjahr deutlich verringern, steigt der 3,4-Benzpyrengelhalt stark an. Eine kausale Erklärung dafür kann jedoch aufgrund dieser Untersuchung nicht gegeben werden. Klammert man bei der Berechnung der Mittelwerte für das Stadtaußengebiet die Werte der "Amerikanischen Siedlung" aus, ergibt sich fast durchwegs eine Verminderung, die bei den Schwermetallen 1979 deutlicher ausgeprägt ist, bei 3,4-Benzpyren im Jahr 1980. Die entsprechenden Werteänderungen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Auch an den übrigen Entnahmestelle des Stadtaußengebietes finden sich größere Unterschiede in der Schadstoffbelastung des Straßenstaubes, was die unterschiedliche Verkehrsbelastung dieser Bereiche widerspiegelt (siehe dazu Tab.1).

Die peripheren Stadtbereiche im Süden und Südwesten (Burgstaller Weg, Steinbach, Schumannstr./Leharstr.) mit ihrer noch relativ geringen Bebauung weisen Schadstoffwerte auf, die sich denjenigen der verkehrsfreien Zonen im Stadtaußengebiet nähern (siehe Tab.8).

Die Korrelationskoeffizienten in den Wohn- und Stadtaußengebietes sind besonders 1979 mit Werten um $r = + 0,9$ durchgehend hoch. Es findet sich also eine engere Beziehung zwischen den Schwermetallgehalten der Staubproben und deren Benzpyrengehalt als in den Bereichen 3.1 Stadttinnengebiet und 3.2 Ausfallstraßen. Im Jahr 1980 ist dieser Zusammenhang schwächer ausgeprägt. Der Korrelationskoeffizient von Blei zu 3,4-Benzpyren liegt mit $r = + 0,85$ jedoch noch immer bemerkenswert hoch.

3.4 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrengehalt im Staub von Parkplätzen

Unter Berücksichtigung einer Arbeit von GRÄF et al. (1980) bei der sich die Blei- und 3,4-Benzpyrengehalte des Umweltstaubes von Parkplätzen verglichen mit anderen Verkehrsflächen als relativ niedrig erwiesen, entnahmen wir ebenfalls zwei Staubproben von Parkplätzen. Der 3,4-Benzpyrengehalt des Entnahmepunktes 4.2 Im Gründlein lag unterhalb unserer Meßgrenze von $0,03 \mu\text{g}$ Benzpyren/g Staub. Da jedoch in der Chromatographiephase unter UV-Licht eindeutig ein Benzpyrenfleck, wenn auch von schwacher Intensität, erkennbar war, wurde die 3,4-Benzpyrenkonzentration dieser Probe mit kleiner als $0,03 \mu\text{g}$ Benzpyren/g Staub angegeben. Dazu wurde das mathematische "kleiner als"-Zeichen verwendet.

Tabelle 6 enthält die entsprechenden Werte.

Tabelle 6: Werte auf Parkplätzen

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
4.1	Industriestr.	0,82	0,65
4.2	Im Gründlein	0,74	0,48
	Mittelwert	0,78	0,57

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
4.1	Industriestr.	0,47	0,53
4.2	Im Gründlein	0,43	0,61
	Mittelwert	0,45	0,57

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen / g Staub	
		1979	1980
4.1	Industriestr.	45,3	36,3
4.2	Im Gründlein	35,8	31,3
	Mittelwert	40,6	33,8

d) Benzpyren

Nr.	Ort	µg Benzpyren / g Staub	
		1979	1980
4.1	Industriestr.	0,05	0,09
4.2	Im Gründlein	<0,03	<0,03
	Mittelwert	<0,04	<0,06

Die als verkehrsarme Bereiche anzusehenden Parkplätze überraschen durch die großen Schwermetallgehalte der Staubproben, denen sehr niedrige 3,4-Benzpyrenwerte gegenüberstehen. Auffallend ist besonders der hohe Gehalt an Eisen. Der von Grünflächen umgebene und weniger frequentierte Parkplatz "Im Gründle" weist fast durchwegs niedrigere Schadstoffwerte auf als der nur etwa 100 m von der Hans-Maier-Str. entfernt gelegene Parkplatz an der Industriestraße.

3.5 Blei-, Zink-, Eisen- und 3,4-Benzpyrenwerte im Staub von -----verkehrsfreien Entnahmestellen und Grünanlagen-----

Unter der Fragestellung, wie sehr sich verkehrsspezifische Schadstoffe im Umweltstaub von verkehrsfreien Bereichen und innerhalb von Grünanlagen nachweisen lassen, bezogen wir solche Entnahmepunkte in unsere Untersuchung ein. Gleichzeitig überprüften wir, ob zwischen Grünflächen im Stadtinnengebiet und solchen von Randzonen der Stadt Unterschiede bestehen. Werte, die unterhalb unserer Meßgrenzen lagen, wurden wieder mit einem "kleiner-als"-Zeichen versehen.

Die jeweiligen Ergebnisse sind den Tabellen 7 und 8 zu entnehmen. Tabelle 9 gibt Auskunft über die Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 7: Werte von verkehrsfreien Entnahmestellen und Grünanlagen im Stadtinnengebiet.

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
5.1	Am Wehr	0,50	0,24
5.2	Spielplatz Post	0,20	0,23
5.3	Am Schloßgraben	0,15	0,21
Mittelwert		0,28	0,23

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
5.1	Am Wehr	0,39	0,74
5.2	Spielplatz Post	0,43	0,39
5.3	Am Schloßgraben	0,41	0,25
	Mittelwert	0,41	0,46

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen / g Staub	
		1979	1980
5.1	Am Wehr	29,5	28,0
5.2	Spielplatz Post	16,8	15,3
5.3	Am Schloßgraben	15,4	15,0
	Mittelwert	20,6	19,4

d) Benzpyren

Nr.	Ort	µg Benzpyren / g Staub	
		1979	1980
5.1	Am Wehr	0,29	0,75
5.2	Spielplatz Post	0,29	0,19
5.3	Am Schloßgraben	0,25	0,26
	Mittelwert	0,28	0,40

Tabelle 8: Werte von verkehrsfreien Entnahmestellen und Grünanlagen im Stadtaußengebiet

a) Blei

Nr.	Ort	mg Blei / g Staub	
		1979	1980
5.4	bei Kläranlage	<0,10	0,23
5.5	Westlich Galgenhof	<0,10	0,19
5.6	Dohnwald	<0,10	0,15
	Mittelwert	<0,10	0,19

b) Zink

Nr.	Ort	mg Zink / g Staub	
		1979	1980
5.4	bei Kläranlage	0,27	0,54
5.5	Westlich Galgenhof	0,08	0,20
5.6	Dohnwald	0,10	0,18
	Mittelwert	0,15	0,31

c) Eisen

Nr.	Ort	mg Eisen / g Staub	
		1979	1980
5.4	bei Kläranlage	15,0	15,3
5.5	Westlich Galgenhof	13,0	14,8
5.6	Dohnwald	10,0	9,5
	Mittelwert	12,7	13,2

d) Benzpyren

Nr.	Ort	$\mu\text{g Benzpyren} / \text{g Staub}$	
		1979	1980
5.4	bei Kläranlage	< 0,03	0,12
5.5	Westlich Galgenhof	0,03	< 0,03
5.6	Dohnwald	0,05	0,10
	Mittelwert	< 0,04	< 0,08

Tabelle 9: Korrelationskoeffizienten für den Entnahmebereich 3.5

r	1979	1980
Pb/3,4-BP	0,75	0,62
Pb/Zn	0,60	0,85
Pb/Fe	0,98	0,78
Zn/3,4-BP	0,92	0,73
Zn/Fe	0,67	0,90
Fe/3,4-BP	0,73	0,94

Tabelle 7 belegt, daß die Schadstoffwerte der Entnahmestellen 5.2 Spielplatz Post und 5.3 Am Schloßgraben, die beide etwas abseits der Hauptverkehrsstraßen liegen, geschützt durch Umbauung und Grünanlagen, sich nur gering unterscheiden. Teilweise höhere Werte finden sich am Punkt 5.1 Am Wehr, bei dem allerdings ein besonders rauher Asphaltuntergrund bei gleichzeitig gutem Windschutz vorliegt.

Bezüglich der Bleibelastung liegen die innerstädtischen verkehrsfreien Bereiche von Herzogenaurach näher an derjenigen der Wohngebiete als an der der Hauptverkehrsstraßen. So erreicht

der Bleiwert der Staubproben, der wieder als Mittelwert der Konzentrationen der Jahre 1979 und 1980 angegeben wird, mit 0,25 mg Blei/g Staub nur ein Drittel des Wertes der Hauptstraße mit 0,81 mg Blei/g Staub. Er beträgt nur etwa die Hälfte des mittleren Wertes des gesamten Stadtaußengebietes von 0,43 mg Blei/g Staub und liegt auch noch unter dem Mittelwert der Wohngebiete von 0,30 mg Blei/g Staub, der sich durch Ausklammern des Wertes der "Amerikanischen Siedlung" ergibt. Ähnliche Ergebnisse fand ÜBELMESSER 1973 für verkehrsferne Entnahmestellen (z.B. Parkanlagen) im Stadtinnengebiet von Erlangen.

Damit erweisen sich Grünanlagen im innerstädtischen Bereich als bleiarme Inseln.

Bei den Zink- und Eisengehalten läßt sich gegenüber den Werten im übrigen Stadtinnengebiet eine geringere Verminderung feststellen als beim Blei. Die Zinkkonzentrationen liegen bei einem mittleren Wert der beiden Untersuchungsjahre von 0,43 mg Zink/g Staub etwa nur halb so hoch wie im Stadtinnengebiet mit 0,8 mg Zink/g Staub und entsprechen denen der Wohngebiete mit 0,42 mg Zink/g Staub.

Während die Eisengehalte der Entnahmestellen 5.2 Spielplatz Post und 5.3 Am Schloßgraben sich mit Werten zwischen 15 mg Eisen/g Staub und 17 mg Eisen/g Staub in der Größenordnung der peripheren Stadtbereiche bewegen, zeigt der Entnahmepunkt 5.1 Am Wehr mit 29,5 mg Eisen/g Staub (1979) und 28,0 mg Eisen/g Staub erstaunlich hohe Werte.

Überraschend sind die großen 3,4-Benzpyrengehalte der Staubproben von innerstädtischen Grünanlagen, die überwiegend zwischen 0,19 und 0,29 µg Benzpyren/g Staub liegen. Damit betragen sie mehr als das Doppelte der meisten Werte der Wohngebiete. An der Sammelstelle 5.1 Am Wehr findet sich 1980 sogar ein unverständlich hoher Wert von 0,75 µg Benzpyren/g Staub.

Wie man Tabelle 8 entnehmen kann, sind in den Staubproben von verkehrsfreien Entnahmestellen und Grünanlagen im Stadtaußengebiet nur geringe Schwermetall- und 3,4-Benzpyrengehalte nachzuweisen. Sie nähern sich für Zink den von mehreren Autoren angeführten natürlichen Hintergrundkonzentrationen. Diese werden als Normalpegel der Erdrinde, aber auch als Gehalt nichtkontaminierter Stäube angegeben und betragen für Blei 0,01 - 0,02 mg/g und für Zink 0,05 - 0,13 mg/g (VETTER u. MÜHLHOP 1971, HAAS et al. 1972, ÜBELMESSER 1973, HÖLL u. HAMPP 1974, GEORGJJ u. MÜLLER 1974, DAY et al. 1975, SCHÖLER u. THOFERN 1980). Daß die gemessenen Eisengehalte zum großen Teil unter dem Erdkrustenwert von 35,4 mg/g liegen, steht in Einklang mit einer Untersuchung von SCHÖLER u. THOFERN (1980), die in Klärschlämmen ebenfalls deutlich niedrigere Eisenkonzentrationen als in der Erdkruste fanden.

Daß auch zwischen den einzelnen verkehrsbedingten Schadstoffen im Staub der verkehrsfreien Bereich von Herzogenaurach teils enge Beziehungen bestehen, zeigt Tabelle 9.

3.6 Zusammenfassung der Mittelwerte der einzelnen Stadtbereiche

Um besser übersehen zu können, ob und in welchem Maße die einzelnen Stadtbereiche sich in ihrer Belastung mit den kraftfahrzeugspezifischen Schadstoffen Blei, Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren unterscheiden und ob sich dabei für die Untersuchungsjahre 1979 und 1980 signifikante Unterschiede feststellen lassen, wurde in Tabelle 10 eine zusammenfassende Aufstellung der Mittelwerte vorgenommen.

Tabelle 10: Mittelwerte der Schwermetall- und Benzpyrengelhalte der einzelnen Entnahmebereiche

a) Blei

Ort	mg Blei / g Staub	
	1979	1980
1. Stadtinnengebiet	0,87	0,70
2. Ausfallstraßen	0,73	0,60
3. Wohngebiete	0,46/0,27 ¹⁾	0,40/0,32 ¹⁾
4. Parkplätze	0,78	0,57
5. Verkehrsfreie Bereiche		
a) Stadtinnengebiet	0,28	0,23
b) Stadtaußengebiet	0,01	0,19
Gesamtmittel	0,59	0,54

b) Zink

Ort	mg Zink / g Staub	
	1979	1980
1. Stadtinnengebiet	0,75	0,84
2. Ausfallstraßen	0,46	0,47
3. Wohngebiete	0,40/0,31 ¹⁾	0,44/0,41 ¹⁾
4. Parkplätze	0,45	0,57
5. Verkehrsfreie Bereiche		
a) Stadtinnengebiet	0,41	0,46
b) Stadtaußengebiet	0,15	0,31
Gesamtmittel	0,48	0,54

¹⁾ Werte ohne Entnahmepunkt 3.1 Amerik.Siedlung

c) Eisen

Ort	mg Eisen / g Staub	
	1979	1980
1. Stadtinnengebiet	21,4	21,2
2. Ausfallstraßen	22,0	20,3
3. Wohngebiete	20,9/10,7 ¹⁾	18,0/19,6 ¹⁾
4. Parkplätze	40,6	33,8
5. Verkehrsfreie Bereiche		
a) Stadtinnengebiet	20,6	19,4
b) Stadtaußengebiet	12,7	13,2
Gesamtmittel	22,2	20,6

d) Benzpyren

Ort	µg Benzpyren / g Staub	
	1979	1980
1. Stadtinnengebiet	0,36	0,25
2. Ausfallstraßen	0,42	0,92/0,39 ²⁾
3. Wohngebiete	0,13/0,08 ¹⁾	0,20/0,09 ¹⁾
4. Parkplätze	0,04	0,06
5. Verkehrsfreie Bereiche		
a) Stadtinnengebiet	0,28	0,40
b) Stadtaußengebiet	0,03	0,08
Gesamtmittel	0,25	0,39/0,25 ²⁾

1) Werte ohne Entnahmepunkt 3.1 Amerik.Siedlung

2) Wert ohne Entnahmepunkte 2.5 Herzo Base und 2.6 Zum Flughafen/
Ringstr.

Wie man aus Tabelle 10a entnehmen kann, sind die Unterschiede der mittleren Bleiwerte der Staubproben der einzelnen Stadtbezirke in den Jahren 1979 und 1980 relativ gering. Es besteht eine leichte Tendenz zur Verminderung der Bleibelastung des Stadtgebietes, die sich in nahezu allen Bereichen und auch in der Senkung des Mittelwertes des Bleigehaltes aller untersuchten Staubproben von 0,59 mg Blei/g Staub (1979) auf 0,54 mg Blei/g Staub (1980) zeigt. Einzig bei den "Wohngebieten ohne Entnahmepunkt 3.1 Amerikanische Siedlung" und bei den verkehrsfernen Stellen des Stadtaußengebietes finden wir eine geringe Anhebung. Bei letzteren begünstigen allerdings die sehr kleinen Konzentrationen leichte, analytisch und meßtechnisch bedingte Schwankungen der Werte.

Weiterhin wird deutlich, daß die Bleibelastung von Wohngebieten nur halb so groß ist wie diejenige des Stadtinnengebietes. Bei Vernachlässigung des Wertes der "Amerikanischen Siedlung" beträgt sie mit 0,27 mg Blei/g Staub gegenüber 0,87 mg Blei/g Staub sogar nur ein Drittel.

Überraschend sind die hohen Bleigehalte der Stäube von Parkplätzen. Sie entsprechen sowohl 1979 wie auch 1980 mit 0,78 bzw. 0,57 mg Blei/g Staub denen der Ausfallstraßen mit 0,73 bzw. 0,60 mg Blei/g Staub.

Entgegen der Tendenz bei den Bleiwerten, steigen die Konzentrationen von Zink im Straßenstaub geringfügig an, im Gesamtmittel aller Proben von 0,48 (1979) auf 0,54 mg Zink/g Staub (1980). Bemerkenswert ist, daß dieser Anstieg in jedem Stadtbereich nachzuweisen ist (siehe Tab. 10b). Entsprechend dem Verhalten der Bleiwerte beträgt auch die mittlere Zinkbelastung der Stäube in Wohngebieten mit 0,40 mg Zink/g Staub (1979) und 0,44 mg Zink/g Staub (1980) nur etwa die Hälfte des Stadtinnengebietes mit 0,75 (1979) bzw. 0,84 mg Zink/g Staub (1980). Anders als beim Blei finden sich zwischen den Bereichen Ausfallstraßen, Wohngebiete, Parkplätze und innerstädtische Grünanlagen keine nennenswerten Unterschiede.

Interessant ist auch das Konzentrationsverhalten des Eisens (Tab. 10c), das im gesamten engeren Stadtgebiet Werte um 20 mg Eisen/g Staub aufweist. Werte über 30 mg Eisen/g Staub konnten nur auf den beiden Parkplätzen und in der "Amerikanischen Siedlung" nachgewiesen werden. Diese besitzt als Sackgasse eine ähnliche Verkehrsstruktur wie ein Parkplatz. Zwei der drei innerstädtischen Grünanlagen liegen mit Werten um 16 mg Eisen/g Staub deutlich unter dem städtischen Mittel. Bei den verkehrsfernen Bereichen der Peripherie läßt sich sogar eine weitere Verminderung auf ca. 13 mg Eisen/g Staub feststellen.

Das Verhalten der 3,4-Benzpyrenwerte wird in Tabelle 10d dargestellt. Dabei nimmt der 3,4-Benzpyrengehalt des Staubes vom Zentrum zur Peripherie tendenziell ab. Die Wohngebiete liegen 1979, bei Weglassen der Entnahmestelle 3.1 Amerikanische Siedlung auch 1980, in ihrer verkehrsbedingten 3,4-Benzpyrenbelastung um ein Mehrfaches niedriger als das Stadtzentrum und die vielbefahrenen Ausfallstraßen. In den verkehrsfreien Bereichen des Stadtaußengebietes lassen sich nur sehr geringe Benzpyrenmengen nachweisen. Das Gesamtmittel aller 3,4-Benzpyrenwerte steigt von 0,25 (1979) auf 0,39 μg Benzpyren/g Staub (1980) an. Bei Ausklammerung der unverständlich hohen Werte der Entnahmepunkte 2.5 Herzo Base und 2.6 Zum Flughafen/Ringstraße ergibt sich im Jahr 1980 allerdings ein mittlerer 3,4-Benzpyrengehalt aller Untersuchungsproben vom 0,25 μg Benzpyren/g Staub und damit keine Veränderung der Gesamtbelastung mit 3,4-Benzpyren gegenüber 1979. Auch der Mittelwert der Ausfallstraßen reduziert sich von 0,92 auf 0,39 μg Benzpyren/g Staub und bleibt somit in der Größenordnung des Vorjahres.

Zusammenfassend kann damit festgestellt werden, daß sowohl die Belastung des gesamten Stadtgebietes von Herzogenaurach als auch der einzelnen Entnahmebereiche mit Blei, Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren zu den Untersuchungszeitpunkten der Jahre 1979 und 1980 nur geringfügige Unterschiede aufweist. Insbesondere eine durch das Benzin-Blei-Gesetz induzierte fortschreitende Verringerung der Bleibelastung konnte in dem engen Zeitraum von einem Jahr nicht ermittelt werden.

3.7 Vergleich der Blei- und 3,4-Benzpyrengelhalte im Straßen- staub von Herzogenaurach und Erlangen-----

Durch eine der vorliegenden Arbeit ähnliche Untersuchung von GRÄF et al. (1980), die den städtischen Umweltstaub Erlangens auf seinen Gehalt an Blei und 3,4-Benzpyren untersuchten, ist es möglich, einen interessanten Vergleich durchzuführen zwischen der verkehrsbedingten Blei- und 3,4-Benzpyrenbelastung der Kleinstadt Herzogenaurach und der, ein erhebliches Verkehrsaufkommen aufweisenden, nahe gelegenen, mittelgroßen Stadt Erlangen.

Es wird versucht, vergleichbare Stadtbereiche einander gegenüberzustellen. Da in Herzogenaurach die Entnahmebereiche "Hauptverkehrsstraßen" und "Stadtinnengebiet" praktisch identisch sind, wird dem Punkt "übriges Stadtinnengebiet" in Erlangen der Bereich "Ausfallstraßen" auf Herzogenauracher Seite zugeordnet.

ÜBELMESSER (1973) fand nämlich, daß die Bleiwerte an Ausfallstraßen im Stadtaußengebiet etwa dem Mittelwert des Stadtinnengebietes ohne Hauptverkehrsader entsprechen. Die angegebenen Werte der "Hauptverkehrsstraßen" von Herzogenaurach ergeben sich als Mittelwert der Entnahmepunkte 1.1 bis 1.6. Die Blei und 3,4-Benzpyrenkonzentrationen des Straßenstaubes in Erlangen sind der Arbeit von GRÄF et al. (1980) entnommen.

Die Tabellen 11 und 12 beinhalten die entsprechenden Werte.

Tabelle 11: Bleigehalte des Straßenstaubes in Erlangen und Herzogenaurach

ERLANGEN	mg Blei / g Staub				HERZOGENAURACH
	1971	1977	1979	1980	
Hauptverkehrsader	5,4	2,4	0,93	0,70	Hauptverkehrsstraßen
Übri.Stadtinnengeb.	3,5	2,2	0,73	0,60	Ausfallstraßen
Stadtaußengebiet	1,9	1,2	0,46/0,27 ¹⁾		Stadtaußengebiet
			0,40/0,32 ¹⁾		
Parkplätze	1,0	1,1	0,78	0,57	Parkplätze
innerst.Grünanlagen	0,4	0,7	0,28	0,23	innerstädt.Grünanlagen
gesamtes Stadtgebiet	2,4	1,5	0,59	0,54	gesamtes Stadtgebiet

1) ohne Entnahmepunkt 3.1 "Amerik. Siedlung"

Tabelle 12: 3,4-Benzpyrengehalte des Straßenstaubes in Erlangen und Herzogenaurach

ERLANGEN	µg 3,4-Benzpyren / g Staub				HERZOGENAURACH
	1971	1977	1979	1980	
Hauptverkehrsader	1,3	0,5	0,36	0,27	Hauptverkehrsstraßen
übri.Stadtinnengeb.	1,3	0,5	0,42	0,92/0,39 ²⁾	Ausfallstraßen
Stadtaußengebiet	0,6	0,4	0,13	0,2	Stadtaußengebiet
Parkplätze	0,2	0,3	0,04	0,06	Parkplätze
innerst.Grünanlagen	0,3	0,3	0,28	0,40	innerst.Grünanlagen
gesamtes Stadtgebiet	0,8	0,4	0,25	0,39/0,25 ²⁾	gesamtes Stadt- gebiet

2) ohne Entnahmepunkte 2.5 Herzo Base und 2.6 Zum Flughafen/Ringstr.

Beide Tabellen zeigen deutlich, daß durch die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes von 1971 und durch die Senkung der Grenzwerte für die Kohlenwasserstoffemission vom 1.10.1975 die kraftfahrzeugspezifische Belastung durch Blei und 3,4-Benzpyren in Erlangen erheblich reduziert wurde. Zum Vergleich mit den Herzogenauracher Werten werden deshalb die Ergebnisse des Jahres 1977 herangezogen.

Aus Tabelle 11 ist zu entnehmen, daß Erlangen mit 1,5 mg Blei/g Staub gegenüber Herzogenaurach mit 0,59 (1979) bzw. 0,54 mg Blei/g Staub (1980) eine etwa dreimal stärkere Bleikonzentration im gesamten Stadtgebiet aufweist, wie auch in fast allen vergleichbaren Stadtbereichen. Im stark verkehrsbelasteten Innengebiet liegen die Werte sogar um mehr als das Doppelte höher.

Das Konzentrationsverhalten des 3,4-Benzpyrens unterscheidet sich etwas von dem des Bleis. Während Stadtinnengebiet und innerstädtische Grünanlagen nur gering differieren, sind im Stadtaußengebiet die Erlanger Werte doppelt so hoch wie diejenigen von Herzogenaurach.

Vor allem in den Stäuben von Parkplätzen finden sich wesentlich größere Mengen von 3,4-Benzpyren als in Herzogenaurach. Die stark frequentierten Parkflächen in der Erlanger Untersuchung liegen ausnahmslos im Stadtinnengebiet, während sie in Herzogenaurach eindeutig dem Stadtaußengebiet zuzuordnen sind. Im Stadtzentrum weisen jedoch sogar verkehrsfreie Bereiche eine relativ hohe 3,4-Benzpyrenbelastung auf. Dies zeigen die Werte der innerstädtischen Grünanlagen beider Städte.

Hier scheint ein das engere Stadtgebiet betreffender, leicht nivellierender Effekt vorzuliegen.

4. DISKUSSION

Nachdem sich die Untersuchungen der durch den Kraftfahrzeugverkehr hervorgerufenen Schadstoffbelastung in erster Linie auf großstädtische Räume konzentrieren, war es das Ziel der vorliegenden Arbeit, einmal die verkehrsbedingte Belastung einer Kleinstadt zu erfassen. Hierzu wurden, abweichend von der lufthygienisch üblichen Analyse von Schwebstaub, die Konzentrationen der kraftfahrzeug- bzw. straßenspezifischen Stoffe Blei, Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren im Straßenstaub der Stadt Herzogenaurach bestimmt. Die von GRÄF et al. (1980) getroffene Feststellung, daß von Bordsteinen und Straßenflächen gewonnene Staubproben nach entsprechender Korngrößennormierung mit Hilfe von Feinsieben (max. Korngröße 25 μm) aussagekräftige Meßergebnisse liefern, konnte in vollem Umfang bestätigt werden. Darauf wird später noch ausführlich eingegangen.

Die gefundenen Ergebnisse zeigen deutlich die unterschiedliche Belastung verschiedener Stadtbereiche durch kraftfahrzeugspezifische Schadstoffe. Aufgrund der je eigenen, typischen Siedlungs- und Verkehrsstruktur kann dies auch nicht überraschen.

Dabei bestehen teilweise enge Beziehungen zwischen den untersuchten Stoffen, was die berechneten Korrelationskoeffizienten zum Ausdruck bringen. Wegen des jeweils geringen Probenumfangs ist deren Aussagekraft jedoch begrenzt, da einzelne "Ausreißer" den Wert des Koeffizienten stark beeinflussen können und dann einen eventuell vorhandenen Zusammenhang verschleiern. Das scheint in den Bereichen "Stadtinnengebiet" und "Ausfallstraßen" für die Beziehung der Schwermetalle zu 3,4-Benzpyren der Fall zu sein. So hat zum Beispiel im Stadtinnengebiet der Korrelationskoeffizient für Blei/3,4-Benzpyren 1979 einen Wert von $r = + 0,79$, 1980 dagegen von nur $r = + 0,16$. Der bei Vernachlässigung eines möglicherweise analytischen Ausreißers korrigierte Wert entspricht mit $r = + 0,78$ dem des Vorjahres. Auch in fast allen übrigen Stadtbereichen finden sich, besonders für Blei/3,4-Benzpyren ausgeprägte Korrelationen. Dies würde

übereinstimmen mit Schwebstaubuntersuchungen von DEIMEL (1974) in Kölner Straßen, der für diese Beziehung ebenfalls einen hohen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,89$ fand.

Deutlich werden auch im gesamten Stadtgebiet die engen Zusammenhänge der Schwermetalle untereinander, was in einem gewissen Gegensatz zu Untersuchungen von MÜLLER (1979 a) steht, der in straßennahen Böden keine Korrelation zwischen Blei und Zink, Blei und Eisen und Zink und Eisen feststellen konnte.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen weiterhin, daß sowohl die verkehrsbedingte Belastung einzelner Bereiche wie auch der ganzen Stadt mit Blei, Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren zu den Untersuchungszeitpunkten in den Jahren 1979 und 1980 nur geringfügige Unterschiede aufweist. Speziell eine infolge des Benzin-Blei-Gesetzes andauernde Verminderung des Bleigehaltes des Straßenstaubes konnte nicht festgestellt werden. Der geringe Rückgang des mittleren Bleigehaltes aller Untersuchungsproben um $0,05$ mg Blei/g Staub könnte zwar auf einen weiter verringerten Bleiausstoß der Kraftfahrzeuge durch z.B. vernünftigeres Fahrverhalten, verbesserte Motoren, oder viele andere Komponenten zurückzuführen sein. Bei dieser minimalen Differenz mag sie jedoch genauso gut methodisch oder analytisch begründet sein. Andererseits kann auch durch ein gestiegenes Verkehrsaufkommen ein stärkerer Rückgang der Bleiemission von Kraftfahrzeugen kompensiert werden. Darauf würde der mit $0,06$ mg Zink/g Staub leicht gestiegene mittlere Zinkgehalt aller Proben hinweisen. GOLWER (1979) konnte nämlich zeigen, daß trotz einer Zunahme des durchschnittlichen, täglichen Verkehrs der Bleigehalt des Schlammes eines Sickerbeckens an einer vielbefahrenen Straße zwischen 1976 und 1978 als Folge der Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes ständig sank, während der Zinkgehalt ebenso beständig stieg. Da Zink ja zum Großteil vom Abrieb der Reifen stammt, ist dies auch ohne weiteres einsichtig.

Unsere Untersuchung bestätigt auch eine von mehreren Autoren immer wieder getroffene Feststellung, wonach bis zu maximal 100 m

neben der Fahrbahn eine flächenhafte Verteilung der kraftfahrzeugspezifischen Schadstoffe durch den Wind stattfindet (SOMMER et al 1971, HAAS et al. 1972, ÜBELMESSER 1973, CAPRIO et al. 1974, GOLWER 1979). Denn an den verkehrsfreien Sammelstellen im Stadtaußenbereich finden sich fast durchwegs die mit Abstand niedrigsten Konzentrationen dieser Stoffe. Nur der, der Hans-Maier-Str. relativ nahe gelegene Entnahmepunkt 5.4 Bei Kläranlage (weniger als 50 m entfernt), erbrachte höhere Werte. Er war zwar verkehrsfrei, aber zuwenig verkehrsfern gewählt worden.

Um die vorliegenden Ergebnisse noch besser einordnen zu können, wurden vergleichbare Untersuchungen aus anderen Städten herangezogen. Leider konnten nur über den Bleigehalt in Straßenstäuben genügend Angaben in der Literatur gefunden werden.

Tabelle 13 enthält eine Zusammenstellung der gefundenen Werte, mit Untersuchungsjahr und Hinweisen zur Literatur, der die jeweiligen Zahlen entnommen sind.

Tabelle 13: Die Bleigehalte des Straßenstaubes von Herzogenaurach im internationalen Vergleich

Ort	Untersuchungs- jahr	Literatur	mg Blei/g Staub
Manchester	1975	DAY et al. (1975)	0,75
Birmingham	-	"	1,0 - 2,5
Rio de Janeiro	1973	"	0,7
77 Städte/USA	1971	"	1,5 - 2,4
USA	1975	SCHÖLER u. THOFERN (1980)	12,0
Hong Kong	1977	HO, Y.B. (1979)	2,97
Manchester Christchurch	1979	DAY, FERCUSSON, CHEE (1979)	0,57 - 2,13
Erlangen	1979	GRÄF et al. (1980)	2,5
Erlangen	1977	"	1,5
Herzogenaurach	1979		0,59
Herzogenaurach	1980		0,54

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, weist Herzogenaurach eindeutig die geringste Bleibelastung des Straßenstaubes auf. Jedoch sind die Unterschiede zu einigen Großstädten (Manchester, Rio de Janeiro) mit einem sicherlich um ein Vielfaches höheren Verkehrsaufkommen nicht sehr groß. Dies mag ohne weiteres auf vielfältige Unterschiede bei den Untersuchungsbedingungen zurückzuführen sein. So betont auch POTT (1979), daß ein Vergleich von Werten verschiedener Autoren nur mit Vorbehalt möglich ist. Trotzdem kamman die eigentlich zu erwartende Aussage treffen, daß die Bleibelastung der Bewohner einer Kleinstadt um ein Mehrfaches geringer ist als diejenige einer Großstadtbevölkerung. Der durchschnittliche Bleigehalt der Großstadtstäube beträgt zwar teilweise nur weniger als das Doppelte (Rio, 1973), teils aber auch das Zwanzigfache (77 Städte/USA, 1975) der Herzogenauracher Werte, der Großteil liegt um das Drei- bis Vierfache höher.

Während es für die Stoffe Zink und Eisen nicht möglich war, konnte bezüglich der verkehrsbedingten 3,4-Benzpyrenbelastung anhand der Daten aus Erlangen ein Vergleich mit einer stark verkehrsbelasteten Region angestellt werden (siehe Kap. 3.7). Dabei zeigte sich ein den engeren Stadtbereich betreffender, leicht nivellierender Effekt.

Dieser kann durch die Adsorption von Blei und 3,4-Benzpyren an verschieden große Partikel erklärt werden. Nach ROBINSON und LUDWIG, zitiert von BLOKKER (1972), ist 75 % des in Städten an Luftstaub gebundenen Bleis an Feinstaubteilchen mit einem mittleren aerodynamischen Durchmesser von weniger als $0,43 \mu\text{m}$ adsorbiert, 25 % an Teilchen kleiner als $0,16 \mu\text{m}$. Des weiteren weist BLOKKER auf JAWAROWSKY hin, der sagt, daß ein erheblicher Teil des aus Auspuffgasen stammenden Bleis sofort auf Böden und Straßenschmutz niedergeht. PROVENZANO (1978) und KRAUTH (1979) bestätigen dies. Ebenso steht es in Einklang mit Aussagen von MIGUEL und FRIEDLANDER (1978), wonach ein beträchtlicher Teil sehr kleiner Partikel, an denen Blei adsorbiert ist, sich noch im Auspuff an den Auspuffwänden niederschlägt und ansammelt, um

später, z.B. bei einem Beschleunigungsvorgang, als viel größere Partikel wieder ausgestoßen zu werden. Die Autoren schreiben weiter, daß für die flüchtigeren Kohlwasserstoffe ein ähnlicher Prozeß des Sich-Niederschlagens und wieder Lösens wahrscheinlich nicht auftritt. So stellen sie fest, daß die Masse des 3,4-Benzpyrens an Teilchen zwischen 0,075 und 0,12 μm gebunden ist. Damit werden diese vom Wind wesentlich leichter verfrachtet und über weitere Flächen verteilt als die größeren Bleipartikel, die sich mehr in der näheren Umgebung absetzen.

Dies ist eine plausible Erklärung, warum die Bleiwerte im Straßenstaub in direkterer Beziehung zum Verkehrsaufkommen stehen als die Benzpyrenwerte und diese im gesamten engeren Stadtbereich geringer differieren als die Bleigehalte. Auch die relativ hohen Bleikonzentrationen auf den Parkplätzen bei gleichzeitig niedrigen 3,4-Benzpyrenwerten erscheinen dadurch verständlich.

Wie aus dem bisher Gesagten hervorgeht, läßt die Untersuchung von Straßenstaubproben auf kraftfahrzeugspezifische Schadstoffe vielfältige Aussagen über die verkehrsbedingte Belastung eines untersuchten Raumes zu. Daß die dabei angewandte Methodik leicht praktikabel, zeitsparend und billig ist, soll im folgenden ausführlich dargelegt werden.

Zur Beurteilung der durch den Kraftfahrzeugverkehr hervorgerufenen Belastung unserer Umwelt werden von verschiedenen Autoren eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden angewandt. Meist handelt es sich dabei um Untersuchungen bezüglich Blei, das von GOLWER (1979) als der am meisten straßenspezifische Spurenstoff bezeichnet wird. So wird neben dem Bleigehalt straßennaher Böden (MÜLLER 1979 a,b) auch der von Pflanzen verkehrsnahen Zonen bestimmt (FIDORA 1972, SOMMER et al. 1971, BELAL u. SALEM 1978), die Bleikontamination von Schnee in Städten untersucht (MÜLLER 1979 b, GRANDSTAFF u. MYER 1979) oder direkt das Ausmaß

der verkehrsbedingten Bleibelastung von Menschen durch Bestimmung der Blut-Blei-Werte festgestellt (LEHNERT et al. 1970, SCHUBERT u. SANGL 1972, SCHELLHAS et al. 1974). Auch ein Auftreten einer hohen Bleikonzentration bei Klärschlammanalysen wird auf den Kraftfahrzeugverkehr zurückgeführt (SCHÖLER u. THOFERN 1980).

Den Großteil der Messungen zur verkehrsbedingten Immissionsbelastung bilden jedoch zweifellos die Schwebstaubuntersuchungen. Dabei werden entweder an kontinuierlichen Meßstationen (ABSHAGEN u. RÖNIGKE 1979, BROCKHAUS et al. 1974) oder an kurzfristig eingerichteten Meßstellen (GEORGII u. MÜLLER 1974, PITTS et al. 1977, KETTNER 1978) Probenahmen durchgeführt. In der Regel geschieht dies mittels sogenannter "High-Volume-Sampler-Geräten" mit Glasfaser- oder Membranfiltern. LAHMANN (1974) bemerkt dazu, daß schon das Probenahmesystem von erheblichem Einfluß auf die Meßergebnisse sein kann, da die gebräuchlichen Filtergeräte zum Teil unterschiedliche Korngrößenbereiche des Luftstaubes abscheiden. Verschiedene Autoren verwenden deshalb zusätzlich Kaskaden-Impaktoren zur Auftrennung der gewonnenen Luftstäube in bestimmte Korngrößenfraktionen (GEORGII u. MÜLLER 1974, LASKUS et al. 1979, MC DONALD u. DUNCAN 1979). Damit wird der apparative und zeitliche Aufwand jedoch weiter erhöht. Deshalb ist es verständlich, daß Schwebstaubuntersuchungen in der Regel nur exemplarisch an wenigen Meßstellen innerhalb eines zu untersuchenden Gebietes, z.B. einer Stadt, durchgeführt werden können. In den meisten Fällen liegen die Meßpunkte dabei in der Nähe von verkehrsreichen Straßen und Plätzen und damit in Bereichen mit überdurchschnittlichen Immissionen (LAHMANN 1974). Zweifellos sind so Aussagen über die direkte Gefährdung von Personen, die in unmittelbarer Straßennähe arbeiten oder wohnen, durch Kraftfahrzeugabgasbestandteile möglich.

Wenn auch einige Autoren auf eine mögliche toxikologische Bedeutung des Bleis im Straßenstaub, insbesondere für Kinder, hinweisen (DAY et al. 1975, DAY, FERGUSON, CHEE 1979, HARRISON 1979), so stellt der in dieser Arbeit untersuchte Staub im allgemeinen

kein unmittelbares Gesundheitsrisiko für die Stadtbewohner dar.

Zur Beurteilung längerfristiger verkehrsbedingter Immissionsbelastungen jedoch ist die hier vorgelegte Methode sehr sinnvoll.

Die Unkompliziertheit der Probengewinnung erlaubt eine großzügige Gestaltung von Umfang und Dichte des Untersuchungsnetzes, sodaß innerhalb eines begrenzten Zeitraumes von z.B. einem Tag eine Vielzahl von Proben entnommen werden kann. Damit ist deren Vergleichbarkeit untereinander gewährleistet. Daß sowohl bei der Probenahme als auch bei der Auswertung der Ergebnisse veränderliche Parameter wie Jahreszeit, Witterung, Windverhältnisse etc. Berücksichtigung finden müssen, ist eine Tatsache, die für alle Arten von Staubuntersuchungen von hoher Bedeutung ist. Auf die enormen Einflüsse meteorologischer Faktoren bezüglich der in den untersuchten Stäuben festgestellten Schadstoffkonzentrationen weisen viele Autoren hin (u.a. HETTCHE 1968, SOMMEP et al. 1971, DEIMEL 1974, GOLWER 1979, MÜLLER 1979a, MØLLER u. ALFHEIM 1980).

Die aufgrund dieser Umstände natürlicherweise auftretenden Schwankungen können, zugleich mit eventuell vorkommenden analytischen Abweichungen, wie auch KRAUTH (1979) sie annimmt, durch ein entsprechend dichtes Untersuchungsnetz minimiert werden. Damit wird die Aussagekraft der Ergebnisse gestärkt.

Daß die mit der vorgelegten Untersuchungsmethode gewonnen Resultate auch wirklich aussagekräftig sind, beweist ein Vergleich mit durch Schwebstaubanalysen gefundenen Werten.

DEIMEL (1974) fand in Köln in einem Meßzeitraum von Februar 1969 bis April 1970 für verkehrsreiche Straßen einen mittleren Bleigehalt von 4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, für verkehrsarme Straßen einen um das Siebenfache geringeren Wert von 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bedenkt man, daß seit Wirksamwerden der zweiten Stufe des Benzin-Blei-Gesetzes am 1.1.1976 die Blei-Immission an verkehrsreichen Straße um 55-60 %, an wenig befahrenen Straßen um 30% zurückgegangen ist (JOST und SARTORIUS 1979), und daß die Messungen von DEIMEL noch vor dem

Inkrafttreten der ersten Stufe des Benzin-Blei-Gesetzes erfolgten (SEIFERT u. ULLRICH (1978) fanden in Berlin bei Messungen jeweils vor 1972 und 1976 eine Reduktion von 74 %), so muß man zum gegenwärtigen Zeitpunkt im Verhältnis verkehrsreicher zu verkehrsarmer Straßen in Köln einen Faktor von weniger als vier erwarten. Auch SCHLIPKÖTER u. FRIELER (1979) führen Vergleichsdaten an, wonach die Monatsmittelwerte der Bleikonzentration von Luftstäuben in Wohngebieten europäischer Großstädte mit $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur ein Drittel derjenigen verkehrsreicher Bezirke mit $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Eine Untersuchung von GEORGJJ u. MÜLLER (1974) in Frankfurt kommt zum selben Ergebnis. Die gleichen Aussagen konnte ÜBELMESSER (1973) durch die Analyse von Straßenstaubproben für Erlangen treffen. Die vorliegende Arbeit liefert dafür eine weitere Bestätigung. Leider konnten in der Literatur keine Untersuchungen über die Benzpyrengehalte in Luftstäuben verschieden verkehrsbelasteter Stadtregionen gefunden werden.

Auch die allgemeine Senkung der Bleikonzentrationen in unserer Umwelt als Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes konnten GRÄF et al. (1980) mit der hier beschriebenen Methode zweifelsfrei nachweisen. Dabei stellten sie auch eine ebenso starke Reduktion des durch Kraftfahrzeugverkehr bedingten 3,4-Benzpyrengehaltes des Straßenstaubes fest. Dies steht in Einklang mit den Befunden von SEIFERT und ULLRICH (1978), die an einer Straßenkreuzung in Berlin unter anderen Luftschadstoffen auch den Blei- und 3,4-Benzpyrengehalt im Schwebstaub bestimmt hatten.

Damit erweist sich die Untersuchung von Straßenstaubproben auf kfz-spezifische Schadstoffe als eine leicht praktikable Methode, die bei relativ geringem Material- und vertretbarem Zeitaufwand, eine Beurteilung einer längerfristigen, verkehrsbedingten Immissionsbelastung auch größerer Räume, bei zugleich dichtem Untersuchungsnetz, erlaubt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Erfassung der durch den Kraftfahrzeugverkehr hervorgerufenen Schadstoffbelastung einer Kleinstadt wurden, abweichend von der lufthygienisch üblichen Analyse von Schwebstaub, die Konzentrationen der kraftfahrzeugspezifischen Parameter Blei, Zink, Eisen und 3,4-Benzpyren im Straßenstaub von Herzogenaurach (1980 ca. 17000 Einwohner) bestimmt. Die Probenahmen erfolgten Anfang Oktober 1979 und Ende September 1980 an 29 Meßpunkten, die über das gesamte Stadtgebiet verteilt waren.

Die gefundenen Ergebnisse zeigen deutlich die unterschiedliche verkehrsbedingte Belastung verschiedener Stadtbereiche. So betragen z.B. die Blei- und Zinkgehalte der untersuchten Staubproben in Wohngebieten mit 0,46 bzw. 0,27 mg Blei/g Staub und 0,40 bzw. 0,31 mg Zink/g Staub (1979) nur die Hälfte bis ein Drittel derjenigen des Stadtinnengebietes mit 0,87 mg Blei/g Staub und 0,75 mg Zink/g Staub (1979). Die innerstädtischen Grünanlagen erweisen sich als bleiarne Inseln. Eine tendenzielle Abnahme vom Zentrum zur Peripherie ergibt sich auch für die 3,4-Benzpyrenwerte, während die Eisenkonzentrationen nur an den verkehrsfreien Entnahmestellen im Stadtaußengebiet mit Werten um 13 mg Eisen/g Staub klar unter dem städtischen Mittel von etwa 20 mg Eisen/g Staub liegen.

Zwischen den verschiedenen Stoffen bestehen teilweise enge Zusammenhänge. Besonders für die Beziehungen der Schwermetalle untereinander, aber auch von Blei zu 3,4-Benzpyren errechnen sich fast durchwegs hohe Korrelationskoeffizienten von $r = + 0,6$ bis $r = + 0,9$.

Die kfz-spezifische Schadstoffbelastung einzelner Bereiche wie auch des gesamten Stadtinnengebietes weist zu den beiden Untersuchungszeitpunkten nur geringfügige Unterschiede auf. Insbesondere eine durch das Benzin-Elei-Gesetz induzierte fortschreitende Verringerung der Bleibelastung konnte für den engen Zeitraum eines Jahres nicht sicher ermittelt werden.

Ein Vergleich mit Werten aus der benachbarten Großstadt Erlangen und anderen Städten macht jedoch deutlich, daß diese in der Kleinstadt Herzogenaurach um das Drei- bis Vierfache niedriger liegt als in großstädtischen Bereichen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Untersuchung von Straßenstaubproben auf kraftfahrzeugspezifische Schadstoffe eine leicht praktikable Methode darstellt, die bei relativ geringem Material- und vertretbarem Zeitaufwand die Beurteilung einer längerfristigen, verkehrsbedingten Immissionsbelastung auch größerer Räume, bei zugleich dichtem Untersuchungsnetz, erlaubt.

6. LITERATURNACHWEIS

Abshagen, J. und Rönicke, G.:

Blei-Pegel des Luftstaubes in der Bundesrepublik
Deutschland 1870-1973

Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kommission zur
Erforschung der Luftverunreinigung, Mitteilung
XIV, 29.S., Harald Boldt Verlag, Boppard, (1979)

Baum, G., Staatssekretär:

Schriftliche Antwort auf eine Anfrage im Bundes-
tag zu den bisherigen Auswirkungen des Benzin-
Blei-Gesetzes

Dt.Lebensmittelrundschau 12 (1977) 412

Belal, M. und Saleh, M.:

Uptake of lead near roads in Egypt
Atm. Env. 12 (1978) 1561-1562

Blokker, P.C.:

A literature survey on some health aspects of
lead emissions from gasoline engines
Atm. Env. 6 (1972) 1-18

Brockhaus, A., Weisz, H., Friedrichs, K.H. und Krämer, U.:

Das Vorkommen von Benzo(a)pyren und partikulärem
Blei bei unterschiedlichen Immissionssituationen
Schr. d.Vereins f.Wasser-, Boden- u.Lufthygiene
42 (1974) 183-195

Buchwald, K.:

Landschaft - Begriff, Elemente, System in:
Buchwald, K. und Engelhardt, W.:
Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der
Umwelt, Bd.2, BLV Verlagsgesellschaft München,
Bern, Wien (1978) 183-185 und 364-365

Caprio, R.J., Margulis, H.L. and Joselow, M.M.:

Lead absorption in children and its relationship
to urban traffic densities

Arch. Env. Health 28 (1974) 195-197

Claussen, T.:

Das Blei in den Autoabgasen - eine gesundheitliche
Gefährdung des Menschen und seiner belebten
Umwelt

Forum Städte-Hygiene 28 (1977) 21-23

Day, J.P., Fergusson, J.E. and Chee, T.M.:

Solubility and potential toxicity of lead in
urban street dust

Bull. Environm. Contam. Toxicol. 23 (1979) 497-502

Day, J.P., Hart, M. and Robinson, M.S.:

Lead in urban street dust

Nature (London) Vol 253 No 5490 (1975) 343-345

Deimel, M.:

Kohlenmonoxid-, Blei-, Stickoxid- und Benzo(a)py-
renbelastung in Kölner Straßen

Schr.d.Vereins f. Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene 42 (1974) 149-163

Dornauer, Udo H.:

Gehalt an 3,4-Benzpyren in verschiedenen Rußarten
Inaugural-Dissertation, Erlangen (1974)

Falk, H., Kotin, P. and Miller, A.:

Aromatic polycyclic hydrocarbons in polluted air
as indicators of carcinogenic hazards

Int.J.Air Poll. 2 (1960) 201-209

Fidora, B.:

Der Bleigehalt von Pflanzen verkehrsnaher Stand-
orte in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode
Ber.Deutsch.Bot.Ges. Bd.85 H 5/6 (1972 219-227

Georgii, H.W. und Müller, J.:

Schwermetallaerosole in der Großstadtluft
Schr.d.Vereins f.Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene 42 (1974) 39-50

Golwer, A.:

Die Beeinflussung des Grundwassers durch Ver-
sickerung von Straßenabflüssen
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft
64 (1979) 59-84

Golwer, A. und Schneider, W.:

Belastung des unterirdischen Wassers mit anorga-
nischen Spurenstoffen im Gebiet von Straßen
gwf-Wasser, Abwasser 10 (1979) 461 -462

Gräf, W., Baars, U., Grote, S. und Ubelmesser, W.J.:

Die Auswirkungen des Benzin-Blei-Gesetzes auf
den Gehalt an Blei und 3,4-Benzopyren im städti-
schen Umweltstaub
Zbl.Bakt.Hyg. I.Abt.Orig. B 170 (1980) 388-401

Grandstaff, D.E. and Myer, G.H.:

Lead contamination of urban snow
Arch.Env.Health July, August (1979) 222-223

Grimmer, G.:

Auswahl der relevanten polyzyklischenaromatischen
Kohlenwasserstoffe - Nachweismethoden in:
Umweltbundesamt Berichte 1/79 (1979) 13-53

Haas, Th., Schaller, K.H. und Valentin, H.:

Gefährdung der Umwelt durch Blei und seine
Verbindungen

Dt.Ärzteblatt 26 (1972) 1803-1805

Harrison, R.M.:

Toxic metals in street and household dusts
The Science of the Total Environment

11 (1979) 89-97

Hettche, H.O.:

Die Belastung der Atmosphäre durch polyzyklische
Aromaten im Großraum eines Industriegebietes
Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions-
und Bodennutzungsschutz des Landes NRW
in Essen H.12 (1968) 92-108

Ho, Y.B.:

Lead contamination in street dust in Hong Kong
Bull.Environm.Contam.Toxicol. 21 (1979) 639-642

Höll, W. und Hampp, R.:

Blei in der Biosphäre, einige Aspekte
Naturwiss.Rdsch. 7 (1974) 272-276

Jost, D. and Sartorius, R.:

Improved ambient air quality due to lead in
petrol regulation

Atm.Env. 13 (1979) 1463-1465

Kettner, H.:

Die Verunreinigung der atmosphärischen Luft durch
Kraftfahrzeugabgase unter Bedingungen einer stark
befahrenen Altstadtssituation

Forum Städte-Hygiene 29 (1980) 218-220

Krauth, K.:

Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 64 (1979) 1-25

Lahmann, E.:

Zur Immissionssituation durch den Kraftverkehr
in deutschen Städten
Eine Zusammenfassung
Schr.d.Vereins f.Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene 42 (1974) 347-363

Laskus, L., Bake, D., Kura, J. und Müller, M.:

Konzentration und Korngrößenverteilung von In-
haltsstoffen im Luftstaub deutscher Städte
WaBoLu-Berichte 2 (1979) 535

Lehnert, G., Mastall, H., Szadkowski, D. und Schaller, K.H.:

Berufliche Bleibelastung durch Autoabgase in
Großstadtstraßen
Dtsch.Med.Wschr. 95 (1970) 1097-1099

Mc Donald, C. and Duncan, H.J.:

Particle size distribution of metals in the
atmosphere of Glasgow
Atm.Env. 13 (1979) 977-980

Michels, S. und Einbrodt, H.-J.:

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im
Urin bei der Bevölkerung einer Industriegroßstadt-
Eine epidemiologische Studie
Wissenschaft und Umwelt H.3 (1979) 107-112

Miguel, A.M. and Friedlander, S.K.:

Distribution of benzo(a)pyrene and coronene with
respect to particle size in Pasadena aerosols in
the submicron range
Atm.Enx. 12 (1978) 2407-2413

Møller, M. and Altheim, J.:

Mutagenicity and PAM-analysis of airborne
particulate matter
Atm.Env. 14 (1980) 83-88

Moore, M.R.:

Exposure to lead in childhood: the persisting
effects
Nature (London) 238 (1980) 334-335

Müller, K.H.:

Der Bleigehalt innerstädtischer Böden als Maß
für die Entsorgung von Kfz-Abgasen
Naturwissenschaften 66 (1979a) 108

Müller, K.H.:

Blei in Staubbiederschlägen und Böden der
Stadt Marburg
Forum Städte-Hygiene 30 (1979b) 155-157

Pitts, J.N., Grosjean, D., Mischke, Th.M., Simmon, V.F, Poole, D.:

Mutagenic activity of airborne particulate
organic pollutants
Toxicology Letters 1 (1977) 65-70

Pott, F.:

Verunreinigung der Umwelt mit PAH/Luft in:
Umweltbundesamt Berichte 1/79 (1979) 72-96

Provenzano, G.:

Motor Vehicle Lead Emissions in the US:
An Analysis of Importance, Determinants
Geographic Patterns and Future Trends
APCA Journal Vol 28 No 12 (1978) 1193-1199

Sachs, L.:

Angewandte Statistik
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
4. Aufl. (1974) 315

Schaad, R.E.:

Chromatographie (karzinogener) polyzyklischer
aromatischer Kohlenwasserstoffe
Chromatographic Reviews 13 (1970) 61-82

Schellhas, H., Obländer, W. und Neuschwander, K.:

Bleigefährdung durch Autoabgase?
Schr.d.Vereins f.Wasser-, Boden- und Luft-
hygiene 42 (1974) 245-255

Schlipköter, H.-W. und Frieler, L.:

Der Einfluß kurzzeitiger Bleiexposition auf
die Bakterien clearance der Lunge
Zbl. Bakt. Hyg. I.Abt.Orig.B 168 (1979) 256-265

Schöler, H.-F. und Thofern, E.:

Schwermetalle im Klärschlamm
Ein regionaler Überblick
Zbl.Bakt.Hyg. I.Abt.Orig. B 171 (1980) 512-524

Schubert, R.H.W. und Sangl, H.:

Zur Frage der Bleibelastung durch Autoabgase
Zbl.Bakt.Hyg. I.Abt.Orig. B 155 (1972) 470-475

Seifert, B. und Ullrich, D.:

Konzentration anorganischer und organischer Luft-
schadstoffe an einer Straßenkreuzung in Berlin
Staub-Reinhaltung Luft 38 (1978) 353-363

Sommer, G., Rosopulo, A. und Klee, J.:

Die Bleikontamination von Pflanzen und Böden
durch Kfz-Abgase
Zschr.f.Pflanzenernährung und Bodenkunde H.3
(1971) 193-205

Übelmesser, W.J.:

Der Bleipegel im Umweltstaub der Stadt Erlangen
Inaugural-Dissertation, Erlangen (1973)

Umwelt:

Informationen des Bundesministers des Inneren
zur Umweltplanung und zum Umweltschutz 84
(1981) 30

Umweltbundesamt:

Das Emissionsverhalten von Personsnkraftwagen in
der BRD im Bezugsjahr 1980
Umweltbundesamt Berichte 9/80 (1980) 545

Vetter, H. und Mühlhop, R.:

Untersuchungen über Blei-, Zink- und Fluor-
Immissionen und dadurch verursachte Schäden an
Pflanzen und Tieren
Landwirtsch.Forschung XXIV H.3-4 (1971) 234-315

Mein Dank gebührt Herrn Professor Dr.med.Dr.med.dent.W.Gräf für die Überlassung des Themas.

Ganz besonders danke ich Herrn Dr. Diether Kersch für die Ratschläge und großzügige Hilfe bei allen Fragen, die sich im Laufe der Arbeit ergaben.

Lebenslauf

Als erstes Kind des techn.Angestellten Heinrich Plecher und seiner Ehefrau Liselotte, geb.Schmidbauer, wurde ich am 6.Januar 1956 in Mitterdorf, jetzt Roding (Kreis Cham) geboren. Von 1962 - 1966 besuchte ich die Volksschule Unterföhring, von 1966 - 1967 das Luitpold-Gymnasium in München, anschließend das Joseph-von-Fraunhofer-Gymnasium in Cham. Dort legte ich am 27.6.1975 das Abitur ab.

Vom 1.Juli 1975 bis 15.November 1975 leistete ich Grundwehrdienst in Amberg und Roding.

Im Wintersemester 1975/76 begann ich an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen das Studium der Zahnmedizin, das ich mit der zahnärztlichen Prüfung am 12.Dezember 1980 erfolgreich abschloß.

Vom 1.September 1981 bis zum 16.Juli 1982 absolvierte ich den restlichen Grundwehrdienst als Stabsarzt in Bogen und Oberviechtach.



